

## 8. MEREVEE SOOLSUS

### 8.1. Merevee keemiline koostis, soolsuse mõiste

Merevesi on mineraalhapete, soolade, gaaside ja orgaaniliste ainete lahja lahus, mis sisaldab ka orgaanilise ja anorgaanilise päritoluga lahustumata hõljumit. Soolsus on merevee üks kolmest olekuparameetrist (temperatuur, soolsus, rõhk).

Soolsuseks  $S$  nimetatakse merevees lahustunud mineraalsoolade suhtelist massi väljendatuna tuhandikes, ‰, g/kg, mg/g, ppt, kus

**ppt = parts per thousand (by mass),  $10^{-3}$  osa tervikust, tuhandik.**

Ühik ppt on segadust tekitav, sest võib tähistada ka triljondikku, *parts per trillion* ehk  $10^{-12}$  osa tervikust.

Aastatel 1970–1980 tegeles UNESCO egiidi all rahvusvaheline okeanoloogide töörühm meetodika standardiseerimiseks merevee tiheduse ja soolsuse määramisel. Selleks ajaks olid juba kasutuses elektrilised salinomeetrid. Loobuti soolsuse määramisest merevee **kloorisisalduse** kaudu ning asendati see soolsuse määramisega **elektrijuhtivuse** kaudu, mis on oluliselt praktilisem. Töörühm algselt soovitas jätta merevee soolsuse suhteline mõõtühik märkimata, eeldades, et tegemist on tuhandikega ning soolsuse määramisega elektrijuhtivuse kaudu. Mõõtühikust loobumine tunnistati siiski ekslikuks ning elektrijuhtivuse kaudu määratud soolsuse ühikuks soovitati edaspidi spetsiaalselt ära märkida,

**psu = practical salinity unit.**

Ligikaudselt on Maailmamere keskmine soolsus **35‰**, pidades silmas okeanoloogilist praktikat, võib selle suuruse kirjutada

$$S = 35‰ = 35 \text{ g/kg} = 35 \text{ ppt} = 35 = 35 \text{ psu}, \quad (1)$$

Ranges akadeemilises käsitluses reserveeritakse algsed ühikud ‰, g/kg, mg/g, ppt soolsuse nn absoluutseks määramiseks. Absoluutse määramise all mõeldakse soolade mereveest eraldamist **aurutamise** või **keemiliste reaktsioonide** abil, vastavalt määratud *absoluutset soolsust* tähistatakse õpikutes mõnikord sümboliga  $S_A$ . Kaudselt (elektriliselt), määratud soolsust tähistatakse ilma indeksita, lihtsalt  $S$ . Ühikust võiks üldse loobuda, kuid selguse mõttes kirjutatakse, nagu ülal märgitud, **psu**.

Maailmamere soolsus muutub piirides **0–43**. Pinnakihtide keskmine soolsus on **34.84**. Minimaalne soolsus, alla **20**, on sisemeredes, mida toidavad jõed. Läänemere soolsus on mere keskosas **6–8** pinnal ja **12–13** merepõhjas. Lokaalselt madal soolsus on loomulikult jõesuudmete läheduses, eriti kui jõgi suubub pikka kitsasse lahte või fjordi.

Kõrge soolsus on soojades sisemeredes vähese jõgede mõju ja sademete korral, kus intensiivne aurumine suurendab pinnakihtide soolsust. Vahemere pinnakihtide soolsus on **39**, Pärsia lahes ja Punases meres üle **40**.

Mõne **soolajärve** (Surnumeri, Kara-Bogazi laht) soolsus küünib **200–300**-ni.

Merevee mineraliseerumine on põhiliselt määratud järgmiste lahustunud sooladega:

**kloriidid:** NaCl, MgCl<sub>2</sub>, KCl,

**sulfaadid:** MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,

**karbonaadid:  $\text{CaCO}_3$ .**

Tähtsaim merevees lahustunud sool on **naatriumkloriid ( $\text{NaCl}$ , 77.8 % soolade üldmassist)**, mida toodetakse mereveest ka kommerskogustes (veel toodetakse **magneesiumi ja broomi**).

Vesi on parim senituntud lahustitest. Et erinevate soolade lahustumisel tekib ühesuguseid ioone, siis on uuritud üksikute keemiliste elementide suhtelist massi. Juba 19. saj algul märgiti merevee ionkoostise kvalitatiivset püsivust. **Merevee soolsusliku koostise püsivuse reegel** sai kinnitust **"Challengeri" 1872–1876** toimunud ekspeditsioonil, mil analüüsi Maailmamere eri piirkondadest ja sügavustest võetud 77 veeproovi.

Selle reegli järgi on merevees lahustunud ionide vastastikune suhe muutumatu, vaatamata üldkontsentratsioonile ehk soolsuse muutumisele. Seega võib väiksema soolsusega merevett saada, kui lahjendada suurema soolsusega vett mageveega. Suurema soolsusega vee saamiseks tuleb aga mereveest magevesi välja aurutada. Soolsusliku koostise püsivuse reegel on ilmseks kinnituseks, et tsirkulatsiooni tõttu moodustab Maailmamere ühtse segunenud terviku. Ohustades saastamisega tema mingit piirkonda, seame ohtu ka ülejäänud osad.

**Lahustunud ionikomponentidest annavad 8 esimest 99.88% soolamassist:**

1) $\text{Cl}^-$	55.04 %	5) $\text{Ca}^{++}$	1.16 %
2) $\text{Na}^+$	30.61 %	6) $\text{K}^+$	1.10 %
3) $\text{SO}_4^{--}$	7.68 %	7) $\text{HCO}_3^-$	0.41 %
4) $\text{Mg}^{++}$	3.69 %	8) $\text{Br}^-$	0.19 %

Ülejäänute arvele tuleb vaid **0.12 %**.

Märgime, et **merevee soolsusliku koostise püsivuse reeglit loetakse väga hästi kehtivaks ookeanide avaosades**. Äärealadel ja poolsuletud meredes esineb paljudel põhjustel väikseid kõrvalekaldeid, näiteks rikka vetikakasvuga piirkondades tarvitatakse osa ioone taimede kasvuks (**P, N, K, Ca, Si**).

Mõnikord väidetakse, et merevees on lahustunud kõik looduses tuntud perioodilisuse süsteemi elemendid. See võib nii olla, kuid siis on **üle 30 loodusliku elemendi seni merevees avastamata**.

Nimelt on perioodilisuse tabeli elementidest viimane, mida looduses avastatud, järjekorranumbriga **94 (plutoonium)**. Arvestades aga, et kolme vahepealset elementi:

**nr 43, tehneetsium,**  
**nr 61, promeetium,**  
**nr 93, neptuunium,**

on saadud ainult kunstlikult, võib lugeda keemiliste elementide looduses esinevaks arvuks mitte **94**, vaid **91** [Saveljev, 1979], merevees on neist avastatud **57** [UNESCO, 1986].

Tabel 1. Merevees lahustunud keemilised elemendid (**bold** ga märgitud halogeenid)

<b>kloor</b>	indium	hõbe
naatrium	tsink	lantaan
magneesium	raud	krüpton
väävel	alumiinium	neoon
kaltsium	molübdeen	kaadmium
kaalium	seleen	volfram

<b>broom</b>	tina	ksenoon
süsinik	vask	germaanium
strontsium	arseen	kroom
boor	uraan	toorium
räni	nikkel	skandium
<b>fluor</b>	vanaadium	plii
argoon	mangaan	elavhõbe
lämmastik	titaan	gallium
liitium	antimon	vismut
rubiidium	koobalt	nioobium
fosfor	tseesium	tallium
<b>jood</b>	tseerium	heelium
baarium	ütrium	kuld

Merevee kullasisaldus on  $3 \cdot 10^{-7}\%$  [Смирнов, 1987].

## 8.2. Uurimislaevad

Esimeseks okeanoloogiliseks laevaks peetakse spetsiaalselt seadistatud puidust korvetti (keskmise sõjapurjekas) "**Challenger**" ("Väljakutsuja"). Märgime, et sama nime on kandnud hilisemadki uurimislaevad, samuti 28.01.1986 õnnetult startinud USA kosmosesüstik.

"Challengeri" veeväljasurve oli **2306 t**. Lisaks purjetele oli laeval **1200 hj** aurumootor. Laeva keskosas paiknes veel **18 hj** auruvints traalimisteks, sondeerimisteks ja põhja-proovide võtmiseks. Trossi pikkus oli **7300 m** (jämedus 5–8 cm). Üks sondeerimistsükkel **5.5 km sügavuseni** kestis **10–12 tundi**.



Joon. 1. HMS Challenger.

HMS – Her (or His) Majesty's Ship, kuningriikide sõjalaevade nime ees kasutatav lühend "Challengeri" reisi (**21. dets. 1872 – 24. mai 1876**) uurimisobjektideks olid merehoovused, looded, vee ja merepõhja füüsikalised-keemilised omadused, mere ja külastatavate maade floora-fauna. Toimusid regulaarsed meteoroloogilised ja magnetvälja mõõtmised.

Laeva kapteni George Strong Nares' (hiljem Sir) ja ekspeditsiooniülema (Sir) C. Wyville Thomsoni juhtimisel läbiti 68 890 meremiili (**127 600 km**), viibiti **Atlandi, India ja Vaikses** ookeanis, Antarktika rannikul, korraldati **362 süvavee sondeerimisjaama**. Pardal oli kokku **243 inimest**. Reisi tulemusi analüüsisid **70 teadlast 20 aasta jooksul** spetsiaalses instituudis Edinburghis, *Challenger Office's*. Kokkuvõtted avaldati **50 köites**.



Joon. 2. "Challengeri" laborid.

Tõestati: merevee soolsusliku koostise püsivus Maailmamere eri piirkondades, **elusorganismide olemasolu sügavuseni 5 km**; koostati esimene meresetete klassifikatsioon, avastati üle 700 uue bioloogilise liigi. Bioloogid, keemikud ja geoloogid jäid ekspeditsiooniga ülimalt rahule. Merevee tsirkulatsiooni uurimine kujunes raskemaks kui esialgu arvati. Reisi ajal ei suudetud operatiivselt läbi töötada ja üldistada andmeid merevee temperatuuri ja soolsuse kohta ning kohe planeerida edasisi ja korduseksperimente.

Ekspeditsioonilaev **HMS Challenger** oli viies sama nimega laev Briti Kuninglikus Mereväes. Pärast on selliselt nimetatud veel 3 laeva. HMS Challenger'i vöörikuju on restaureeritud ja paigutatud Suurbritannia Mereinstituudi ette.



Joon. 3. Teadlased Ukraina laevalt "Akademik Vernadski" **Suurbritannia Mereinstituudi** ees, september 1978 (Institute of Oceanographic Sciences, Wormley, Godalming, Surrey). Instituudi sissekäigu kohale on paigutatud "Challengeri" säilinud vöörikuju. (*H. Ohvri*)

Maailma suurim teaduslaevastik oli endisel NSVL-l, Pikka aega oli selle lipulaevaks "Vitjaz", mis alates 1949. aastast tegi 65 uurimisreisi 30 aasta jooksul.

Laevanimi "**Vitjaz**" (vene k 'rüütel, kangelane') on sama populaarne kui ingliskeelne "**Challenger**". ja norrakeelne "**Fram**" ('Edasi'). Aurukorvetil "Vitjaz" maabus loodus-



teadlane ja etnograaf **N. Mikluhho-Maklai** 1871. aastal Uus-Gineas. Teisel "Vitjazil", samuti aurukorvetil, sõitis admiral S. Makarov, 1886–1889 ümber maailma.

**Kolmas "Vitjaz"** ehitati esmalt **1939. a** Saksamaal banaanilaevana ja kandis nime "Mars", vedas enne sõda banaane Ladina Ameerikast Hamburgi. Pärast sõda töötas ta NSVL mere-laevanduses kuni ümberehituseni teaduslaevaks SDV-s Wismari laevatehases. "Vitjazi" pikkus oli **109.4 m**, laius 14.5 m, veeväljasurve **5546 t**, kiirus 13.5 sõlme. Kahe trümmis paikneva võimsa vintsi trumlitel oli kummalgi **14 km** terastrossi – vaierit. Laev kuulus NSVL TA Širšovi-nim. Okeanoloogiainstituudile, kodusadam Vladivostok. Laeval töötas korraga **70 teadlast** ja sama palju meeskonnaliikmeid. Maailmamere suurim sügavus, **11 022 m**, mõõdeti "Vitjazilt" **1957. aastal Mariaani süviku lõunaosas**. Tõestati ka tsirkulatsiooni olemasolu Maailmamere süvikutes, seetõttu on ohtlik sinna jäätmete uputamine. Eestlastest on "Vitjaz"-l töötanud meregeoloog **dr Ivar Murdmaa**.

Seejärel tellis NSVL 1960tel SDV-st 7000-tonnised nn akadeemikute seeria laevad ("Akademik Vernadski", "Professor Zubov", "Akademik Koroljov" jt.), mille laevameeskonnas oli 160 inimest (80 teadurit ja 80 meeskonnaliiget).



Joon. 4. Uurimislaev "Akademik Vernadski" La Manche'i kanali äärses Doveri sadamas, sept 1978. (H. Ohvril)



Joon. 5. "Akademik Vernadski" 10-ne aasta juubel, okt 1978, Atlandi ookeanil Kanaari saarte lähedal. Juubelipidustuste üheks osaks oli võrkpallivõistlus meeskonna ja ekspeditsiooniliikmete vahel. (H. Ohvril)

Maailma teaduslaevastiku suurimaks on ikka veel sakslaste "**Polarstern**" (1982). See, 11 000 tonnise veeväljasurvega (**täislastis 16 600 t**) topeltkeregaga jäälõhkuja on mõeldud polaaruuringuteks ja inimeste ning varustuse veoks Antarktika uurimisjaamadesse. Laeva pikkus on 118, laius 25 m, 4 mootori koguvõimsus 14 000 kW (20 000 hj). "Polarsterni" teenindab **41 meeskonnaliiget**, teaduspersonali suuruseks võib olla **40 uurijat** ja **insener-tehnikut**, veel on **25 reisijakohta** polaarjaamade töötajate üleveoks. Laev võib rammimisega läbida kuni **3 m** paksusega jääd ja töötada välistemperatuuril kuni **-50 °C**. Külalisuurijatel on võimalus tulla laevale oma konteinerlaboriga.



Joon. 6. The R/V Polarstern is the most important tool of the German polar research and the flagship of the Alfred Wegener Institute. <https://www.awi.de/en/expedition/ships/polarstern.html>



Kaheksakümnendatel aastatel ehitati NSVL-le hulk teaduslaevu Soomes. "Akademik Mstislav Keldoš" tegi esimese reisi 1981. a (6290 t, kiirus kuni 16 sõlme ehk 30 km/h, 2 autonoomset sukeldumisaparaati, renditi "Titanic" vraki uurimiseks jne).

Seejärel valmis, 1982–1984, Turus Valmeti laevatehases jääklassi laeva kerele mitu keskmise suurusega, **2140-tonnist** (pikkus 71.6 m, laius 12.8 m) teaduslaeva seeriast "**Akademik Šuleikin**": "Akademik Šokalski", "Professor Hromov" jt. Samasse seeriasse kuulus ka Eesti Teaduste Akadeemia uurimislaev "**Arnold Veimer**", millel lipuheiskamistseremoonia toimus **15. juunil 1984** ning mis vahetas välja 1976–1984 käigus olnud poole väiksema laeva "**Aju-Dag**". Teistest oma seeria laevadest erines "**Arnold Veimer**" kõige rohkem **originaalsete sondeerimisseadmete** poolest – vintside operaatorid ei asunud avatekil, vaid suurte külgluukidega merele avanevates ruumides, gardenites. Ka olme-tingimused olid "Arnold Veimeril" inimlikumad – dušš ja tualett 1-2 kajuti peale jne. Laeval oli kohti **53 inimesele**, mõningate ebamugavuste hinnaga sai reservkohtadele võtta veel 3 inimest. Tavaliselt oli laev reisis väikese alakoormusega, näiteks **30 meeskonnaliiget + 20 teadlast**. Laeva kiirus oli kuni **14 sõlme** ja autonoomsus **50 ööpäeva**.



Joon. 7. Uurimislaeva "Aju-Dag", laeva esiosast sirutub aktinomeetriline poom.



Joon. 8. Endine Eesti teaduslaev "Arnold Veimer", praegune HMS Trossö. (Valmetin Laivateollisuus OY, Turku, *P.J. Lundsten*; Falkvarv, Falkenberg, [Xiziz](#), Wikipedia.)

Pärast Eesti taasiseseisvumist nimetati "Arnold Veimer" 1991. aastal ümber "Livoniaks". Ekspluatatsioonikulude katteks oldi sunnitud laev ümberehitama ökoturismilaevaks ja rentima Kanada polaarturismifirmale Marine Expeditions, mis korraldas reise Loodevähila ja Patagooniast Antarktikasse. Reisidel osalesid peamiselt USA ja Kanada pensionärid.

Kuigi Piirivalveamet oli 1996. aastal taotlenud "Livonia" andmist riigiasutuste ühiskasutusse, milleks oleks keskkonnaministeeriumil tulnud see tasuta bilansist bilanssi üle anda, müüs Eesti Keskkonnaministeerium välismaal korraldatud enampakkumisel 1996. aasta septembris väidetavalt võlgadesse sattunud "Livonia" 2.8 mln \$ eest Rootsi kuninglikule mereväele [laeva ehitushind oli ca 13 mln \$]. Saadud raha eest osteti 18.4 miljoni krooni eest Hoiupanga Investeeringufondi osakuid ja müüdi need hiljem kasuga maha, teenides nii 7.8 miljonit krooni. Kasumist rahastati mitme keskkonnakaitselise objekti ehitust, keskkonnakaitsespropagandat ja anti sponsorabi.

Rootsi lipu all sai laev uue nime, HMS Trossö ja pardanumbri A264 (HMS – *Hans (Hennes) Majestäts Skepp*) ning asus teenistusse tugi- ja staabilaevana. Hiljem vahetati NSVL päritolu peamasinad välja ökonoomsemate vastu.

Aastatel 2008–2009 osales laev Aafrika idarannikul Somaalia piraatide tõrjeoperatsioonides.  
<http://mereviki.vta.ee/mediawiki/index.php/LIVONIA>

### 8.3. Soolsuse eksperimentaalne määramine

Soolsuse mõiste on lihtne ja arusaadav. Raskused tekivad soolsuse eksperimentaalsel määramisel. Merevesi on liiga keerukas lahus, et eraldada orgaanilised ained ja seejärel sadestada keemiliste reaktsioonidega **anorgaanilised**. Kui merevett aurutada, ja tekkinud sade kuumutamise ja kuivatamise teel, on saadakse soolade ja orgaaniliste ainete segu, mis pealegi on äärmiselt hügrokoopne. Samast kohast võetud veeproovidest soolsuse eraldi määratud väärtused oleksid üksteisest väga erinevad suure mõõtemääramatuse tõttu.

Aastakümneid tegeles mereveest soolade eraldamisega taani teadlane **M. Knudsen**, kelle juhtimisel 1902. aastal töötati välja stabiilseid tulemusi andev meetodika soolade eraldamiseks ja 1903. aastal publitseeriti hüdrograafilised tabelid (Lacombe, 1974, 26; Ivanoff, 1978, 17).

**Martin Knudsen (1871–1949)** – Taani füüsik, töötas Taani Tehnikaülikoolis; uuris liikumisi hõrendatud gaasis: **Knudseni rakk, Knudseni manomeeter, Knudseni pump, Knudseni teoreem**; monograafia "**Gaaside kineetiline teooria**" (London, 1934).

Oli teatmiku "**Okeanoloogilised tabelid**" (Copenhagen-London, 1901) toimetaja.

Knudseni rühma meetodika: kuumutada merevett **480 °C** juures **kloori keskkonnas** kuni saadud kuivaine kaal enam ei muutu (vee kriitiline temperatuur **374 °C**). Kuumutamisel merevees olevad orgaanilised ained lagunevad ja oksüdeeruvad, samuti oksüdeeruvad **karbonaadid**. **Broom** ja **jood** ühinevad klooriga kloriidideks. Kuigi selle meetodikaga ei õnnestu koguda kõiki merevees olevaid lisandeid, saadi korduskatsetel lähedasi tulemusi.

Selle meetodika järgi formuleeriti soolsuse esmane definitsioon: *soolsuseks nimetatakse tahke aine kogust grammides, mis on saadud ühest kilogrammist mereveest, kui karbonaadid on oksüdeeritud, broom ja jood asendatud kloriididega, orgaaniline aine täielikult oksüdeeritud.*

Selline akadeemiline meetodika oli äärmiselt aeglane, nõudis kallist aparatuuri ja oli tülikas kasutamiseks avamerel. Lähtudes merevee soolsusliku koostise püsivusest töötati M. Knud-

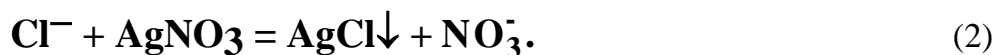


seni juhendamisel paralleelselt välja soolsuse määramise lihtsam metoodika, mis algselt baseerus **merevee ühe komponendi, kloori** sisalduse määramisel.

Kui oleks teada merevee **kloorisisaldus** ehk **kloorsus**, mida tähistatakse **Cl‰**, siis eeldades, et kloor moodustab soolade üldkogusest **55.04%**, võiksime lihtsasti arvutada üldsoolsuse **S‰**:

$$S‰ = \frac{1}{0.5504} Cl‰ = 1.81686 Cl‰. \quad (1)$$

Merevee kloorisisalduse leidmiseks soovitas M. Knudsen argentomeetrilise tiitrimise meetodi (*tiitrima* – lahuses aine sisaldust määrama):



Et tekkinud sademes on ka hõbeda ühendid teiste merevees leiduvate halogeenidega (**AgBr**, **AgF**, **AgJ**), siis tõlgendatakse mõistet kloorsus laiemalt – see on merevees olevate **halogeenide** ehk **kloori, broomi, fluori ja joodi suhteline mass**. Perioodilisuse süsteemi viiendat VII rühma elementi, **astati**, pole merevees avastatud).

Kloorsuse laiem määrang tähendas ka valemis (1) oleva koefitsiendi muutmist, seda tegi ülalmainitud teadlaste grupp katseliselt 9 veeproovi alusel (2 Läänemere, 2 Atlandi ookeanist, 4 Läänemere ja Põhjamere üleminekualalt, üks Punasest merest). Teljestikus **S‰-Cl‰** paiknesid punktid sirgel, mis aga ei läbinud koordinaatide alguspunkti ning võrrandisse tekkis vabaliige, mistõttu nullkloorsuse korral ei järeldu valemist nullsoolsus:

$$S‰ = 0.030 + 1.805 Cl‰. \quad (\text{NB! Aastast 1902!}) \quad (3)$$

Seda, **1902.** aastal publitseeritud metoodikat nimetati “**Knudseni rahvusvaheliseks meetodiks**” ja see oli kasutusel ligi **60 aastat**. Meetodi standardhälve oli **0.01‰** ja suurim hälve **0.022‰** [Millero, 1993].

Soolsuse geograafilise andmebaasi suurenedes põhjendati valemi ebatäpsust 1959. aastal põhjalikuma statistilise analüüsiga ning UNESCO eksperdid soovitasid 1963. aastal kasutada ilma vabaliikmeta, nn Cox'i valemit [Ivanoff, 1978, 19; Šamrajev, Šiškina, 1980, 74]:

$$S‰ = 1.80655 Cl‰, \quad (4)$$

mida kasutati ka UNESCO ja Suurbritannia Okeanograafiainstituudi poolt välja antud okeanoloogiliste tabelite koostamisel. Rõhutatakse selle valemi sobivust vaid ookeanide ja avatud, hea veevahetusega merede jaoks. Pooleldi suletud (isoleeritud) merede (*semi-enclosed*) merede, nagu Läänemeri, Must meri, Aasovi meri, Kaspia meri, jaoks on leitud viimaste valemite erijuhud [Jegorov, 1974, 48; Šamrajev, Šiškina, 1980, 74]. Näiteks **Läänemere jaoks** on Trzosinska (**1977, Dera, 71**) ikkagi modifitseerinud Knudseni jt vabaliikmega valemit (3):

$$S‰ = 0.082 + 1.805 Cl‰. \quad (5)$$

Tiitrimise ja ka muude meetodite kaliibrimiseks kasutatakse etalonina normaalset ehk standardset merevett, mille halogeenisaldus on täpselt teada ja mida juba 1902. aastast ampullides turustatakse. Vastav teenistus (*Standard Sea Water Service*) viidi 1974. aastal Kopenhaagenist üle Suurbritannia Okeanograafianstituuti (Wormleys), standardset merevett valmistatakse veel mitmes suuremas mereinstituudis.

Paralleelselt tiitrimisega on alates 1930test arendatud soolsuse määramist vee elektri-juhtivuse kaudu. Püsival temperatuuril sõltub **merevee elektri-juhtivus** kloorsusest prakti-

liselt **lineaarselt**, temperatuuri tõustes kasvab sirge tõus, kuid sõltuvus jääb lineaarseks. Tehniliste raskuste (elektrolüüs) tõttu sai elektriline meetod suurema leviku alles 1960tel aastatel, mil arendati välja elektrilisel induktiivsusel töötavad salinomeetrid. Elektri-juhtivuse varasem mõõtmine mereveega otsekontaktis olevate elektroodidega põhjustas viimastel elektrolüütilisi kahjustusi ning vajadust elektroode sageli puhastada või vahetada.

Alates 1978. aastast UNESCO soovitas, ja alates 01.01.1982 kohustas (?!); mõõtma soolsust ainult elektrijuhtivuse kaudu ja mõõtmiste juures kasutada etalonina standardset **kaaliumkloriidi** lahust, milles **KCl** suhteline mass on **32.4356%**. Temperatuuril **15 °C** ning normaalarõhul on sellise kontsentratsiooniga **KCl**-lahuse elektrijuhtivus võrdne merevee elektrijuhtivusega soolsusel **35**, temperatuuril **15 °C** ja normaalarõhul.

Tähistades elektrijuhtivuse tähega **C (conductivity)**, võime kirjutada:

$$\underbrace{C(35, 15, 0)}_{\substack{\text{merevee} \\ \text{soolsus}} \text{ ja } \underbrace{15, 0}_{\substack{\text{°C} \\ \text{erinevus}}}} = \underbrace{C_{\text{KCL}}(32.4356, 15, 0)}_{\substack{\text{KCL laboratoorne etalonlahus} \\ \text{temperatuuril } 15^{\circ}\text{C ja atmosfäärirõhul}}} \quad (6)$$

Suvalise soolsusega **S**, kuid temperatuuriga **15 °C** ja tavarõhul oleva merevee elektri-juhtivuse, **C(S, 15, 0)**, jaoks leitakse abisuurus, nn suhteline elektrijuhtivus, **K<sub>15</sub>** normaalarõhul:

$$K_{15} = \frac{C(S, 15, 0)}{C_{\text{KCL}}(32.4356, 15, 0)} \quad (7)$$

Ilmselt soolsuse **S = 35** puhul omandaks abisuurus väärtuse, **K<sub>15</sub> = 1**. Kui aga **S ≠ 35**, siis valitud tingimuste juures (**15 °C, 760 mm Hg**) on suhteline elektrijuhtivus ainult soolsuse **S** funktsioon, mis võimaldabki arvutada ka vastupidi, soolsuse suhtelise elektri-juhtivuse kaudu. Vastav UNESCO soolsuse arvutamise valem [UNESCO, 1981]:

$$S = a_0 + a_1 K_{15}^{0.5} + a_2 K_{15} + a_3 K_{15}^{1.5} + a_4 K_{15}^2 + a_5 K_{15}^{2.5}, \quad (8)$$

kus  $a_0 = 0.0080,$   
 $a_1 = -0.1692,$   
 $a_2 = 25.3851,$   
 $a_3 = 14.0941,$   
 $a_4 = -7.0261,$   
 $a_5 = 2.7081,$

---

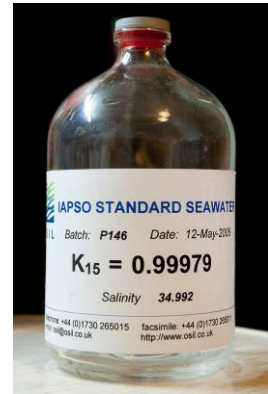

$$\sum a_i = 35.0000, \quad 2 \leq S \leq 42.$$

Kui merevee temperatuur ei ole **15 °C** ja õhurõhk erineb ühest standardatmosfäärast, siis arvutatakse soolsuse parand **ΔS**. Vastavad valemid leiab asjasthuvitatud UNESCO dokumendatsioonist või uutest okeanograafilistest tabelitest.

Elektrilise soolsusemääramise korral, mil ei toimu ei kuumutamist ega keemilisi reaktsioone, lisatakse selgitav ühik, **psu** – *practical salinity unit*.

Joon. 9. Atlandi ookeani veest valmistatud standardlahus salinomeetrite kalibreerimiseks. Standardlahuste seeriaid valmistatakse erinevate soolsuste ja temperatuuride jaoks.

International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO), standard seawater. (*Wikipedia*)



Märgime, et lisaks elektrijuhtivusele on veel teisi merevett iseloomustavaid füüsikalisi suurusid, mis soolsusest sõltuvad, näiteks merevee murdumisnäitaja, mida mõõdetakse interferomeetriselt. Merevee murdumisnäitaja kasvab soolsuse kasvades (merevesi tiheneb) ja kahaneb temperatuuri kasvades (merevesi hõreneb). Kuid soolsuse mõõtmisel vajaliku täpsuse saavutamiseks peaks murdumisnäitajat omakorda mõõtma sellise täpsusega, mis senini on tülikas.

#### 8.4. Soolsuse vertikaalne muutumine

Kõigepealt lühidalt mere pinnakihi soolsusest  $S_0$ .

**Pinnakihi soolsust suurendavad aurumine ja jäätumine** (merejää soolsus on oluliselt väiksem kui veel, millest jää tekkis). Seega suurendavad aurumine ja jäätumine soolsust vastavalt troopikas ja polaaraladel.

**Pinnakihi soolsust vähendavad sademed ning jää sulamine.** Nimetud protsessid vähendavad polaaralade soolsust rohkem kui värske jää moodustumine seda suurendaks, seega polaaralade soolsus on madalam kui **35**.

Maailmamere pinnakihi keskmine soolsus on **34.84**. Keskmisest suuremad väärtused, **35.5–35.7**, on tugeva aurumise ja väheste sademete tõttu nii põhja- kui lõunapoolkera laiustel **20°–30°** (nn hobulaiused, ekvatoriaalaladele lähedane temperatuur, kuid vähene pilvisus, vähe sademeid).

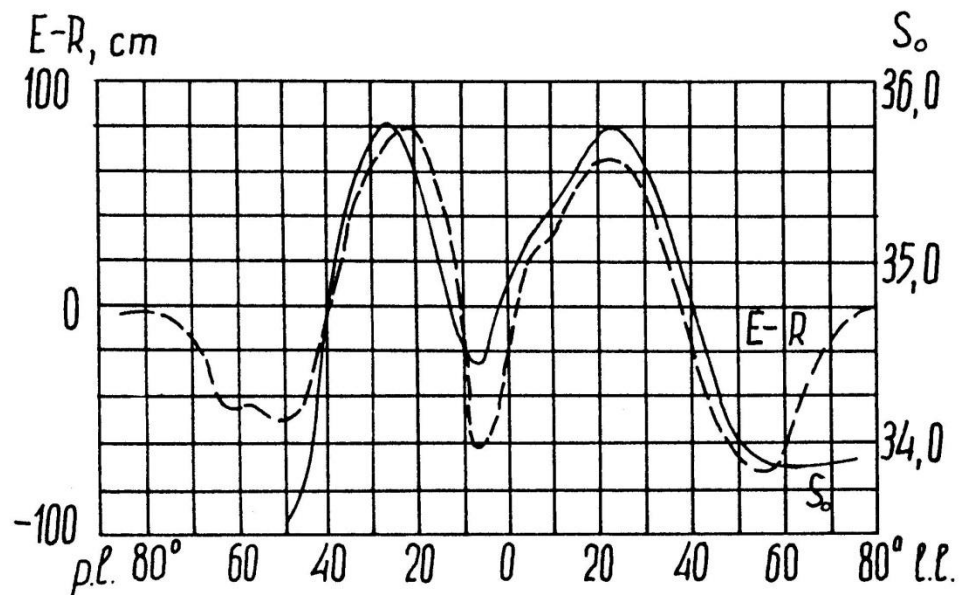
Ekvaatorile lähemal kui **10°** on pinnakihi keskmine soolsus intensiivsete sademete tõttu väiksem, **34.4–35.2**.

Kõrgematel laiustel, põhjapoolkeral  $\varphi > 45^\circ$  ja lõunapoolkeral  $\varphi > 60^\circ$  puhul vähendab mitmesuguse jää (ka mandrilise jää) sulamisvesi pinnakihi soolsust.

Laiustel üle **60°** on soolsuse väärtused, **suurenenud sademete** ja **väikese aurumise** tõttu tavaliselt alla **34**.

Kui vaadelda üle pikkuskraadi keskmistatud vahet  $E - R$ , kus  $E$  on aasta jooksul aurunud (*evaporation*) veekihi paksus sentimeetrites ning  $R$  sademetena (*rain*) langenud veekihi paksus, siis näeme madalatel ja keskmistel laiustel head korrelatsiooni pinnakihi soolsusega  $S_0$  [Иванов, 1978, 34; Pickard, Emery, 1995, 51; jne]. Vastav klassikaline joonis (joon. 10) on väga paljudes okeanoloogiaõpikutes.





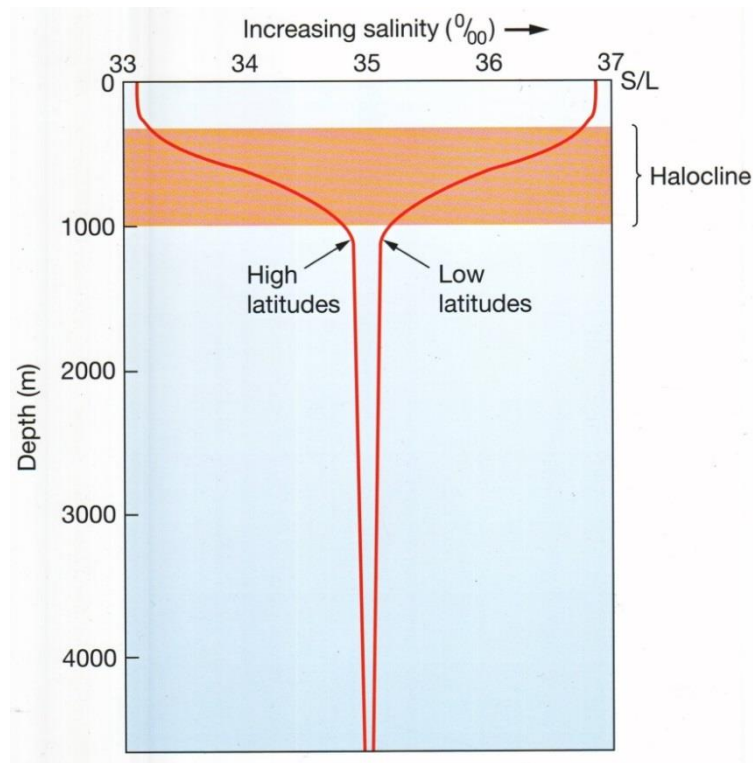
Joon. 10. NB! Sellel klassikalisel joonisel on kaks erinevat vertikaaltelge. Parempoolsel vertikaalteljel on soolsuse ühikud,  $S_0$  (graafik pideva joonega) võimaldades kirjeldada pinnakihi soolsuse sõltuvust laiuskraadist. Vasakul vertikaalteljel aurumise ning sademete vahe,  $E - R$  (punktiirjoon). Vertikaaltelgede mastaabid on sobitatud kõverate prima kokkulangevuse saavutamiseks.

(ИВАНОВ, 1978. с. 34, 318; Georg Wüst, 1954 (?); Raymond Schmitt, 1989.)

Ookeanide sügavamates kihtides on soolsuse väärtus stabiilsem kui pinnal. Nendel laiustel ( $20^\circ$ – $30^\circ$ ), kus pinnakihi soolsus on keskmisest suurem, väheneb  $S$  väärtus koos sügavusega. Ning vastupidi – pinnakihi väiksemale soolsusele vastab soolsuse kasv sügavuses.

Sügavamate kihtide soolsus on vähese muutlikkusega: sügavamal kui 2000 m püsivad soolsuse väärtused piirides **34.6–35**, ookeani põhjakihis **34.7–34.9**.

Üldistatud skemaatilisel joonisel 11 on soolsuse vertikaalne muutumise skeem kõrgemate laiuste (polaaralad) ja madalamate laiuste (troopika) jaoks.



Joonis 11. Soolsuse vertikaalse muutumise üldistatud skeem kõrgemate laiuste (jahedam kliima) ja madalamate laiuste (soojem kliima) jaoks [Thurman, Trujillo, 1999, 153].

Küsimus: mida tähendab lühend, S/L??

## 8.5. Merejää

Maailmameres on kahte liiki jääd:

- 1) mandrilise päritoluga jäämäed, põhiliselt Antarktikast ja Gröönimaalt merre libisenud jääkilbi tükid,
- 2) külmunud merevesi.

Merevee külmumisel tekkiv jää meenutab soolvees leotatud porolooni – poorsetes mageveekristallides voolab väljasettinud sooladest ja mereveest moodustunud ülisoolane vesi, milles  $S > 50$ .

Kuna soolsus merevee tihedust tõstab, hakkab pooride raske ülisoolane vesi jääst aeglaselt välja voolama, suurendades jääaluse veekihi soolsust. Järele jäävate poorsete mageveekristallide ja poorides loksuva soolvee **summaarne soolsus** on keskmiselt **neli korda madalam** kui mereveel, millest jää tekkis.

**Merejää poorsus** (pooride suhteline ruumala) on arvutatav jää tiheduse ja soolsuse järgi. Suhteliselt magedas Läänemeres on jää poorsus **4%**, Barentsi meres **8%**. Suur on aga lume kokkupressumise teel moodustunud ja mageveest koosnevate jäämägede poorsus, kuni **22%**.

**Merejää soolsus** sõltub kõigepealt **temperatuurist**, mille juures jää tekib – mida madalam temperatuur, seda kitsamad poorid ja kapillaarid moodustuvad ning seda vähem soolvett jõuab ajaühikus jääst välja voolata. **Seega on madalatel temperatuuridel tekkinud jää summaarne soolsus tervikuna suurem.**

Jää moodustumise temperatuur mõjustab ka poorides oleva soolvee keemilist koostist. Nimelt hakkavad madalatel temperatuuridel soolveest välja kristalliseeruma üksikud soolad järgmises järjekorras:

–2 °C – pooride soolvette ilmuvad karbonaatide kristallid,

- 8 °C – kristalliseeruvad sulfaadid,
- 23 °C – kristalliseerub osa kloriide; merevee soolsus jää poorides suureneb temperatuuri alanedes, temperatuurile –30 °C vastab soolsus 238;
- 43 °C – kristalliseerub **MgCl<sub>2</sub>**,
- 55 °C – kristalliseerub **CaCl<sub>2</sub>**.

Madalamal kui –55 °C temperatuuril vedelat faasi jääs enam praktiliselt pole, jää kujutab endast *kriohüdraati* – soolakristallide ja magevee jääkristallide segu.

Merejää soolsus kasvab, kui jäätuv vesi samaaegselt liigub. Lainetuse või merevee suure voolukiiruse juures on poorid ja kapillaarid kaootilisemalt orienteeritud ning soolade jääst väljavoolamine toimub aeglasemalt. Lisaks pritsib lainetusega soolast vett jää pinnale, mis imbib pooridesse ja mõnevõrra tõstab jää pinnakihi soolsust.

Niisiis, vasttekkinud jää soolsus hakkab vähenema soolvee väljavoolamise tõttu. Poorid tühjenevad ning mitmeaastase merejää soolsus on vaid **0.01–1‰**, st vana jää võib olla praktiliselt mage ja joogiks kõlblik.

### ***Personalia – Ivar Murdmaa, maailmamere eestlane***

1950. aastal avastas üks põhjalik ja aeglase moega Tallinna 21. Keskkooli lõpetanud noormees Moskva Ülikooli sisse astudes, et ta on hiljaks jäänud. Dokumentide vastuvõtmine keemiateaduskonda oli juba lõppenud. Õnneks asus Moskva Ülikooli kõrval Rakendusgeoloogia Instituut. Ivar Murdmaa lõpetas selle, Eesti NSV vabariiklikul kohal õppides, 1955. aastal. Aspirantuuris (praegune doktorantuur) NSVL TA Okeanoloogia Instituudis. Teadaolevalt esimene Antarktika mandril viibinud eestlane (1957), teine oli kirjanik Juhan Smuul (kuu aega hiljem, “Pravda” korrespondendina).



Joon. 12. Meregeoloog Ivar Murdmaa (s 1931).

Venemaa TA Okeanoloogiainstituudi teadur, maavarade ja paleookeanoloogia labori juhataja, Venemaa Loodus-teaduste Akadeemia korrespondentliige (*Wikipedia*).

Aastaid ei saanud ta Moskvasse sissekirjutust, elas Vladivostokis.

Arvatavasti võõrkeeles rääkimise ja Austraalia väliseestlasega suhtlemise pärast keelati talle kahel korral välissõidud, kokku 16 aastaks. Tegeles sel ajal teadustööga ja kaitses doktoritöö (läänemaaailmas puudub NSVL (vene) doktoritöö analoog, selle maht on ca 3–6 PhD).

Populaarteaduslikud raamatud:

- Sealpool Kaljukitse pöörijoont: ekspeditsioonilaeval "Ob" läbi kolme ookeani, Tln 1962,
- Ookean tulerõngas, Tln 1980.



## **Personalia – Enn Kaup, Antarktika uurija**

Eesti tuntuim polaaruurija (s 1946), osalenud erinevate riikide Antarktika ekspeditsioonide koosseisus, nii meteoroloogi kui limnoloogina, kokku 9 korral + 1 turismigiidina.



**Joon. 13.** Polaaruurija Enn Kaup. Eesti lipu esmaheiskamine Antarktises Thala oaasis Molodjožnaja jaama lähedal 9. novembril 1988, 67°40'S. (Foto: Vassili Terletski)

---

**Ülesanne 1. Soolakogus kahekordseks.** Soolade üldmass Maailmameres on  $4.92 \cdot 10^{16}$  tonni, see põhjustab soolsuse  $S = 35\text{‰}$ . Kui soolade praegune üldmass suureneks kahekordseks (soola lisatakse juurde), siis milliseks kujuneks sellisele vastav uus soolsuse väärtus  $S_2$ ? Anda vastus 4 numbrikohaga. (Vastus: 67.63‰)

**Ülesanne 2. Magevee lisamine (erikuju).** Merevee kogusele, mille mass on  $1 \text{ kg}$  ja soolsus on  $10\text{‰}$ , lisatakse  $x$  grammi magevett, mis alandab soolsuse väärtuseni  $9\text{‰}$ . Avaldada  $x$ . (Vastus: 111.11 g)

**Ülesanne 3. Magevee lisamine (üldkuju).** Merevee teatud kogusele  $m \text{ kg}$ , mille soolsus on  $S_1\text{‰}$ , lisatakse  $x$  grammi magevett, mis alandab soolsuse väärtuseni  $S_2\text{‰}$ . Avaldada lisatud magevee mass  $x$  grammides. Kontrollida üldlahendit eelmise ülesande erijuhul.

**Ülesanne 4. Surnumere (Aura veekeskuse "Ahhaa") ülesanne.** Mitu **kg** keedusoola (**NaCl**, **2.16 g cm<sup>-3</sup>**) tuleb lisada **1 m<sup>3</sup> mageveele**, et saavutada Surnumere soolsus, ***S* = 300‰?** (Vastus: 428.57 kg)